

DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN RPM RENDAH DENGAN MEMANFAATKAN MOTOR KIPAS



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan
Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

SIDIK NUGROHO

D 400 120 011

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN RPM RENDAH DENGAN
MEMANFAATKAN MOTOR KIPAS**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

SIDIK NUGROHO

D 400 120 011

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Jatmiko, MT.

NIK. 622

HALAMAN PENGESAHAN

DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN RPM RENDAH DENGAN MEMANFAATKAN MOTOR KIPAS

OLEH

SIDIK NUGROHO

D 400 120 011

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 4... 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Jatmiko, M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Agus Supardi S.T.,M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Hasyim Asy'ari S.T.,M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 4 Juli 2016

Penulis



SIDIK NUGROHO

D 400 120 011

DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN RPM RENDAH DENGAN MEMANFAATKAN MOTOR KIPAS

Abstrak

Generator magnet permanen merupakan salah satu mesin listrik yang memanfaatkan gaya mekanik untuk dapat menghasilkan listrik dimana generator ini memanfaatkan magnet permanen sebagai rotornya. Penelitian ini membahas tentang perancangan generator magnet permanen dengan memanfaatkan kipas angin serta melakukan analisa pengaruh belitan terhadap keluaran generator. Kipas angin yang dipakai adalah jenis kipas angin yang menggunakan magnet permanen sebagai rotornya. Dilakukan perancangan ulang rotor generator dengan mengganti magnet permanen jenis ferit dari kipas angin dengan magnet permanen jenis neodymium sebanyak 6 magnet dan menggunakan akrilik sebagai frame nya. Frame stator menggunakan frame bawaan kipas angin 1 slot dengan jumlah belitan 4100. Generator ini mampu menghasilkan tegangan keluaran maksimal pada frekwensi 50 Hz 8,4v pada kecepatan 300 rpm, dan tegangan terendah 3,5v pada kecepatan 100 rpm, pada frekwensi 60 Hz tegangan keluaran tertinggi mencapai 9,1v pada kecepatan 350 rpm. Generator ini mampu membangkitkan daya 12,194 mW pada kecepatan 350 rpm, percobaan ini dilakukan dalam skala lab, data hasil percobaan masih dapat dikembangkan lagi dalam skala lebih besar. Untuk dapat memperoleh daya keluaran yang lebih besar dapat dengan merubah jumlah dan ukuran belitan, memvariasi magnet permanen neodymium dengan ukuran tertentu serta memperkecil jarak rotor dengan stator, sehingga dapat dicapai daya yang lebih besar.

Kata Kunci: generator magnet permanen, kipas angin, magnet neodymium.

Abstract

Permanent magnet generator is one of electric machine that utilizes mechanical force to produce electricity generator which utilizes a permanent magnet as a rotor. This study discusses the design of a permanent magnet generator by using a fan and analyze the effect of the winding of the generator output. The fan used is the type of fan that uses a permanent magnet as the rotor. Redesign done by replacing the generator rotor permanent magnet type ferrite of a fan with a permanent magnet type neodymium magnet and as much as 6 magnet and using acrylic as his frame. Stator frame using the default fan frame 1 slot with the number of turns 4100. This generator is capable of producing a maximum output voltage at a frequency of 50 Hz 8,4v at a speed of 300 rpm, and the lowest voltage 3,5v at a speed of 100 rpm, at a frequency of 60 Hz the highest output voltage reaches 9,1v at a speed of 350 rpm. This generator is able to generate power of 12.194 mW at a speed of 350 rpm, the experiment was done in a lab scale, experimental results can be developed on a larger scale. In order to obtain a larger output power can change the number and size of turns, varying the neodymium permanent magnet of a certain size and narrowing the gap with the rotor and stator, in order to achieve greater power.

Keywords: permanent magnet generator, a fan, a neodymium magnet.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu energi yang menjadi kebutuhan pokok bagi hampir semua manusia. Listrik menjadi salah satu energi vital dan menjadi penopang hampir semua kegiatan ekonomi dan aktifitas manusia. Untuk memenuhi kebutuhan manusia akan listrik telah banyak dibangun sistem pembangkit listrik di Indonesia. Saat ini, pemerintah telah berkomitmen untuk merealisasikan penyediaan listrik sebesar 35 ribu Megawatt (MW) dalam jangka waktu 5 tahun (2014-2019). Pemerintah bekerjasama dengan PLN dan swasta akan membangun 109 pembangkit, dimana 35 proyek dikerjakan oleh PLN dan 74 proyek lainnya dikerjakan oleh swasta/Independent Power Producer (IPP). Berkaitan dengan pembangkit maka diperlukan mesin listrik yang mampu untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik, dalam hal ini adalah generator.

Generator merupakan salah satu mesin listrik yang bekerja berdasarkan energi gerak/mekanik yang kemudian merubahnya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari – hari. Generator menggunakan prinsip percobaan faraday yaitu memutar magnet dalam suatu kumparan atau sebaliknya, ketika magnet bergerak dalam suatu kumparan, terjadi perubahan fluks gaya magnet (perubahan penyebaran arah medan magnet) dalam kumparan dan menembus tegak lurus terhadap kumparan sehingga timbul beda potensial antara ujung kumparan (membangkitkan listrik), hal ini karena adanya perubahan fluks magnetik. Fluks magnetik dapat diubah dengan menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya dengan memanfaatkan sumber energi lain, seperti angin dan air untuk memutar baling - baling turbin sehingga menggerakkan magnet tersebut. Jika suatu konduktor bergerak memotong medan magnet maka akan timbul beda tegangan pada ujung - ujung konduktor tersebut. Tegangan tersebut naik saat mendekati medan dan sebaliknya, sehingga listrik timbul dalam siklus: positif – nol – negatif - nol (tegangan AC). Pada generator DC arah arus saat tegangan negatif dibalik dengan mekanisme cincin-belah, sehingga siklusnya berubah menjadi: positif – nol – positif - nol (tegangan DC). Generator yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan motor kipas magnet permanen yaitu dengan melakukan modifikasi terhadap motor kipas untuk dapat dimanfaatkan sebagai generator magnet permanen putaran rendah. Motor listrik merupakan salah satu mesin listrik yang berfungsi merubah energi listrik menjadi energi gerak. Tegangan induksi generator dapat diketahui dengan persamaan :

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (1)$$

dimana:

E_{rms} : Tegangan efektif induksi generator (V)

N : jumlah lilitan

f : frekuensi (Hz)

Φ_{max} : fluks maksimum (Wb)

N_s : jumlah kumparan

N_{ph} : jumlah fasa

Frekuensi dapat diketahui dengan persamaan :

$$f = \frac{N_r \times p}{120} \quad (2)$$

dimana:

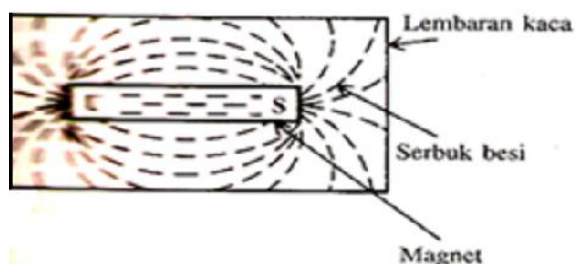
f : frekuensi (Hz)

N_r : Kecepatan putar rotor (rpm)

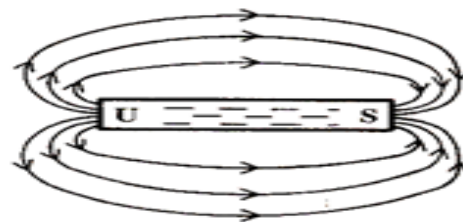
p : Jumlah kutub

Mesin listrik yang secara fisik sama dapat dioperasikan baik sebagai generator ataupun untuk memutar rotor. Dengan demikian akan terdapat medan putar rotor yang melalui kumparan stator. Sehingga tegangan diinduksikan pada kumparan stator dan akan menyuplai tegangan ke beban. Mesin yang sama berlaku baik sebagai generator maupun motor. Perbedaan diantara keduanya hanyalah apakah gaya eksternal yang diterapkan dalam arah gerakan (generator) atau berlawanan terhadap arah gerakan (motor). Secara listrik, bila tegangan induksi lebih besar dari tegangan terminal, maka mesin berlaku sebagai generator, atau bila tegangan induksi lebih kecil dari tegangan terminal maka mesin berlaku sebagai motor. (Multi et al., 2015)

Sebagian peralatan listrik secara langsung maupun tak langsung tergantung pada kemagnetan. Magnetit (bijih besi) adalah material yang memperlihatkan fenomena kemagnetan dan disebut sebagai *magnet alami*. Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu kutub utara (north/ N) dan kutub selatan (south/ S). Mirip seperti muatan listrik kutub magnet yang sama akan tolak - menolak dan kutub magnet yang berbeda saling tarik – menarik. Magnet memberikan gaya pada bahan magnet seperti besi akibat medan magnetnya. Keberadaan gaya magnet tersebut dapat dilihat dengan menebarkan serbuk besi halus pada selembar kertas atau kaca diatas magnet batang (gambar 1). Jika lembaran kertas diketuk secara perlahan serbuk akan mengatur kedudukannya sesuai pola yang dibentuk oleh medan gaya disekeliling magnet batang tersebut. Medan tersebut tampak tersusun atas garis – garis gaya dari kutub utara merambat melalui udara sekitarnya menuju ke kutub selatan untuk membentuk gaya simpal tertutup (gambar 2). Seluruh kelompok medan magnet tersebut, yang mengarah keluar dari magnet disebut sebagai *fluks magnet*.

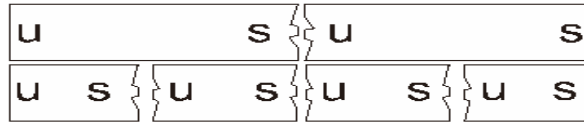


Gambar 1. Serbuk besi



Gambar 2. Arah medan gaya magnet

Karakteristik magnet salah satunya yaitu walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub disebut juga sebagai magnet elementer (gambar 3). Magnet dapat menarik benda lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh material yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet.



Gambar 3. Magnet yang dipotong-potong

Magnet permanen digunakan untuk menghasilkan fluks magnet. Fluks maksimum magnet (Φ_{max}) dapat diketahui dengan persamaan :

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (3)$$

dengan :

$$A_{magn} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau_f(ro - ri)Nm}{Nm} \quad (4)$$

dan

$$B_{max} = Br \times \frac{lm}{lm + \delta} \quad (5)$$

dimana:

A_{magn} : luasan medan magnet (m^2)

B_{max} : kerapatan fluks magnet maksimum (T)

ro : radius luar magnet (m)

ri : radius dalam magnet (m)

Nm : Jumlah magnet

τ_f : jarak antar magnet (m)

Br : kerapatan fluks magnet (T)

lm : tinggi magnet (m)

δ : lebar celah udara (m)

Magnet neodymium, merupakan jenis magnet permanen yang paling kuat. Magnet neodymium juga dikenal sebagai NdFeB, atau magnet Neo, merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dari campuran logam neodymium. Tetragonal $Nd_2 Fe_{14}B$ memiliki struktur kristal yang sangat tinggi uniaksial anisotropi magnetocrystalline ($H_A \sim 7$ teslas). Senyawa ini memberikan potensi untuk memiliki tinggi koersivitas yaitu ketahanan mengalami kerusakan magnetik.

Karakteristik magnet yang dimiliki NdFeB lebih baik bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, seperti Ferit, *Alnico* dan *Samarium Cobalt*. BHmax yang dimiliki dapat berkisar antara 30 MGO sampai dengan 52 MGOe. Karena memiliki karakteristik magnet yang tinggi, maka dalam aplikasinya magnet NdFeB memiliki dimensi dan volume yang kecil. Dalam beberapa aplikasi,

magnet ini juga dapat menggantikan penggunaan magnet *Samarium-Cobalt*, khususnya penggunaan pada suhu kurang dari 80°C . (Irasari & Idayanti, 2007)

Tugas akhir ini akan merancang sebuah generator magnet permanen dengan memanfaatkan motor kipas angin dan dilakukan desain ulang rotor dengan desain type radial 1 fasa dengan menggunakan 6 magnet permanen jenis neodymium type arc (lengkung) berdimensi $19.05 \times 18.875 \times 19.05$ mm dan akan menganalisa hasil daya keluaran generator. Hasil penelitian diperoleh dengan skala lab serta dapat digunakan untuk penelitian lanjutan dengan skala yang lebih besar sehingga dapat diperoleh hasil keluaran daya generator yang lebih besar.

2.METODE

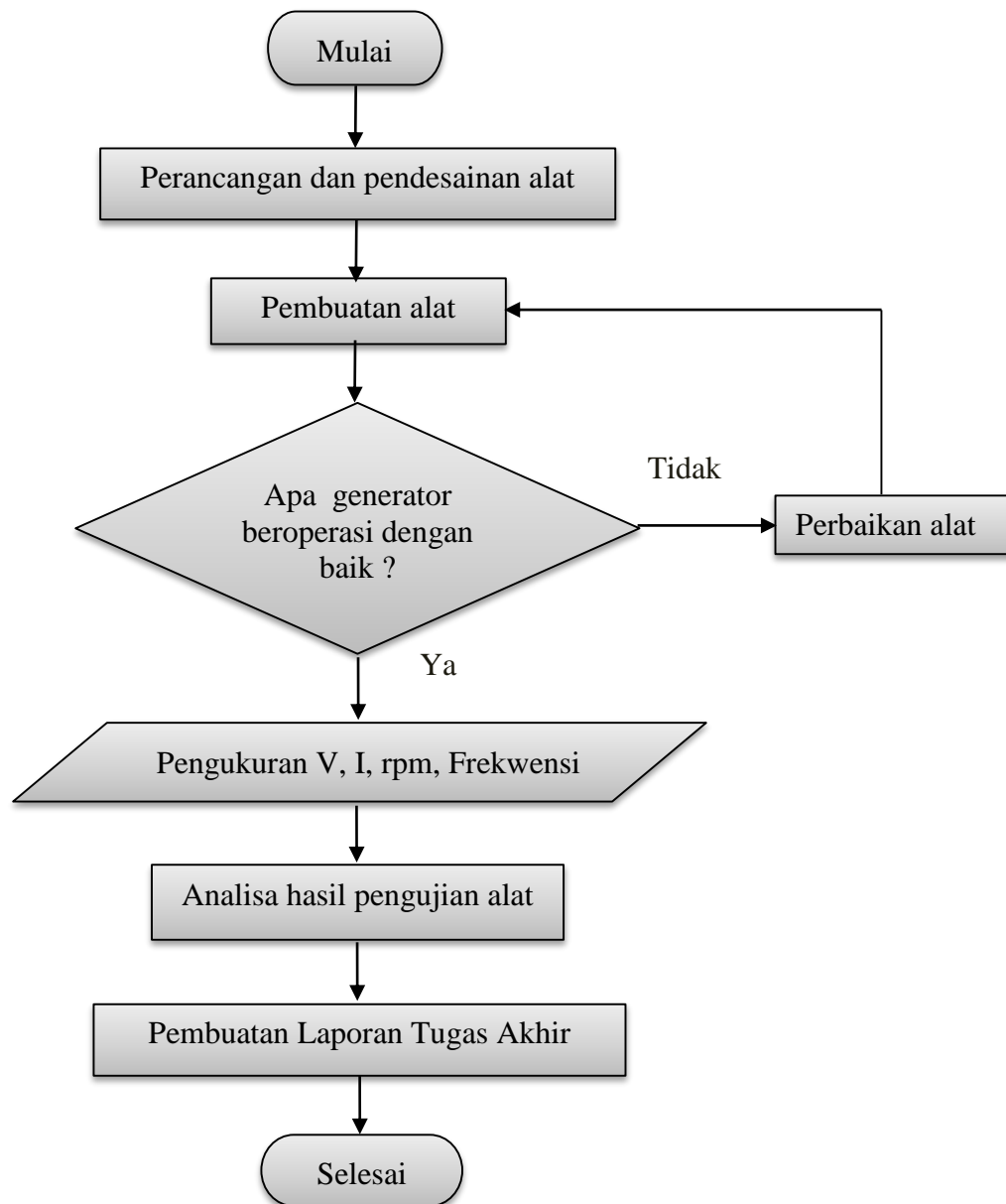
Langkah awal dalam penelitian ini adalah dengan mencari studi literatur. Hal ini dilakukan untuk mengumpulkan data terkait penelitian yang akan dilakukan dan mematangkan konsep dalam penelitian yang akan dikerjakan. Data yang dikumpulkan berupa jurnal – jurnal ilmiah, artikel ilmiah, buku – buku, media online (internet), data tersebut digunakan sebagai referensi dalam mengerjakan penelitian yang akan dilakukan.

Perancangan alat dimulai dengan mendesain model generator yang akan dibuat. Perancangan dan pendesainan generator didasarkan pada perhitungan – perhitungan yang matang yang diperoleh melalui acuan dasar perancangan generator. Perancangan alat dilakukan dengan hati – hati dan teliti dengan berbagai pertimbangan dan perhitungan yang matang sehingga diperoleh hasil keluaran generator yang optimal sesuai harapan.

Pembuatan alat dilakukan dengan diawali mengumpulkan bahan – bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam perancangan generator. Dalam pembuatan generator tersebut dilakukan dengan sangat hati – hati, teliti serta presisi sehingga dapat menghindari kegagalan maupun kerusakan yang mungkin terjadi, dan diharapkan dapat diperoleh hasil sesuai harapan.

Pengujian alat dilakukan untuk memperoleh data dari alat yang telah dibuat. Dalam pengujian dilakukan perbandingan hasil yang diperoleh dari penelitian terhadap target yang ingin dicapai, apabila hasil belum mencapai target maka dilakukan perbaikan alat sampai diperoleh hasil sesuai harapan. Pengujian dilakukan dengan tanpa beban dan berbeban 7 buah lampu led 100mW yang dirangkai paralel untuk mengetahui daya keluaran generator yang telah dibuat.

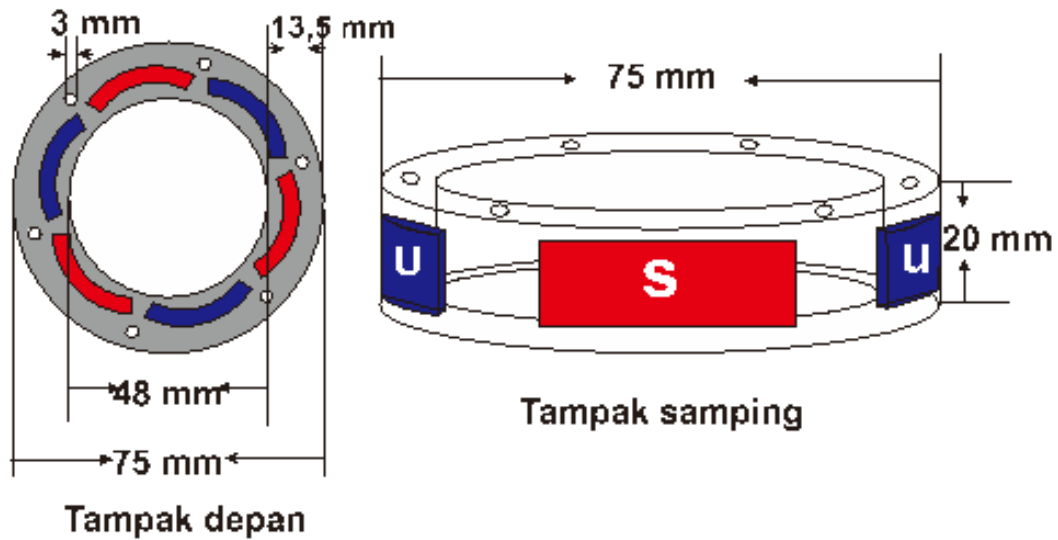
Analisa data dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperoleh dari hasil pengujian untuk kemudian dilakukan perbandingan terhadap data yang diperoleh melalui studi literatur. Hasil yang dianalisa harus sesuai dengan data yang diperoleh dari pengujian alat, sehingga diperoleh hasil analisa yang akurat. Tahapan alir penelitian dapat dilihat pada *flowchart* penelitian berikut :



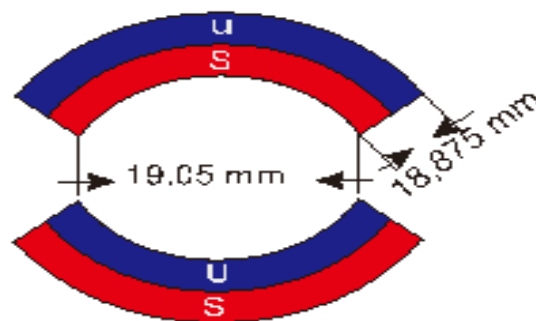
Gambar 4. *Flowchart* penelitian

Pembuatan generator magnet permanen type radial ini menggunakan motor kipas magnet permanen yang dimodifikasi menjadi generator. Dilakukan pendesainan ulang terhadap frame rotor dengan menggunakan akrilik 10 mm. Desain stator tetap menggunakan stator bawaan kipas dengan jumlah slot 1 (satu) dan jumlah belitan 4100 dengan ukuran belitan 0,1 mm. Magnet permanen neodymium yang dipakai berukuran 19,05 x 18,875 x 19,05 mm berjumlah 6 buah magnet untuk menggantikan magnet permanen pada rotor bawaan kipas, magnet tersebut disusun melingkar menyesuaikan konstruksi stator. Magnet neodymium merupakan jenis magnet permanen terkuat dengan konstruksi yang kuat dan medan magnet yang lebih kuat dibandingkan dengan magnet

permanen lainnya. Beban yang digunakan dalam pengujian generator ini adalah lampu led berdaya 100 mW. Desain rotor dan model magnet dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6 berikut.



Gambar 5. Desain rotor generator magnet permanen



Gambar 6. Model magnet neodymium type Arc (lengkung)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain generator yang dirancang pada penelitian adalah generator magnet permanen kecepatan rendah. Generator magnet permanen yang dirancang merupakan hasil modifikasi dari motor kipas magnet permanen. Frame rotor generator ini didesain ulang menggunakan akrilik 10 mm. Penyusunan magnet permanen disesuaikan dengan konstruksi stator kipas yang tidak dimodifikasi. Magnet permanen yang dipakai adalah jenis neodymium type arc (lengkung) sebanyak 6 buah magnet yang disusun melingkari stator. Penggantian jenis magnet permanen dimaksudkan untuk meningkatkan daya keluaran generator, sehingga pada kecepatan rendah dapat diperoleh daya keluaran yang besar. Stator yang dipakai adalah stator standar dari kipas dimana memiliki jumlah slot 1 (satu) dengan arah belitan melingkar berjumlah 4100 belitan.

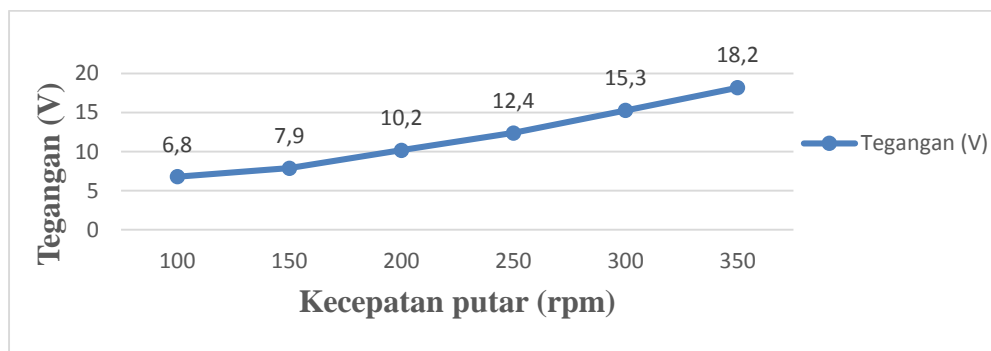


Gambar 7. Generator magnet permanen dan rangkaian uji generator

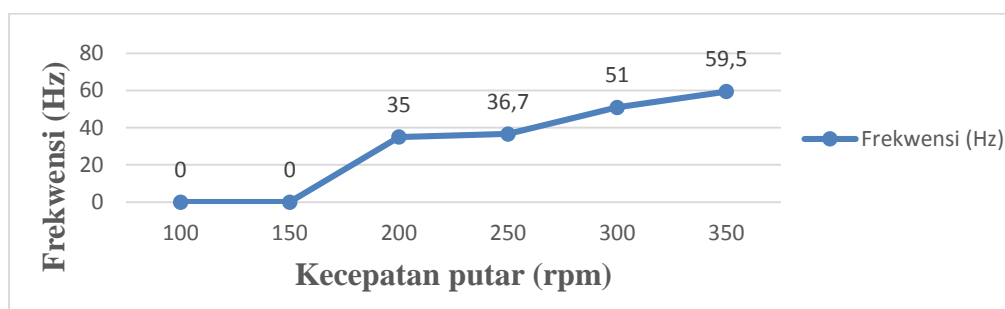
Generator magnet permanen ini menggunakan penggerak sebuah motor induksi dalam pengujiannya. Motor induksi ini dipakai sebagai penggerak mula generator yang dihubungkan dengan puli dan *v-belt*. Pada pemasangannya motor induksi dan generator masing – masing dipasang dengan puli yang kemudian dipasangkan *v-belt* pada puli tersebut. Putaran motor induksi ini diatur menggunakan *Voltage Regulator*, sehingga diperoleh data yang bervariasi. Adapun jarak rotor dengan stator generator yang digunakan adalah 0.5 cm dengan tetap mempertimbangkan konstruksi mekanik generator. Gerakan berputar rotor generator membuat magnet pada rotor memotong medan magnet stator sehingga menimbulkan beda potensial (tegangan) listrik pada belitan. Pengujian generator dilakukan pada variasi kecepatan 100 – 350 rpm dengan kenaikan kecepatan 50 rpm untuk memperoleh data yang akurat. Pengujian generator dilakukan dengan tanpa beban dan berbeban lampu led berdaya 100 mW yang dihubung paralel untuk mengetahui tegangan, arus, frekwensi serta daya keluaran maksimal. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian tak berbeban

Kecepatan putar (rpm)	Tegangan (V) (Volt)	Arus (I) (mA)	Frekwensi (f) (Hz)
100	6,8	0	-
150	7,9	0	-
200	10,2	0	35
250	12,4	0	36,7
300	15,3	0	51
350	18,2	0	59,5



Gambar 8. Hubungan kecepatan putar terhadap tegangan pada pengujian tak berbeban

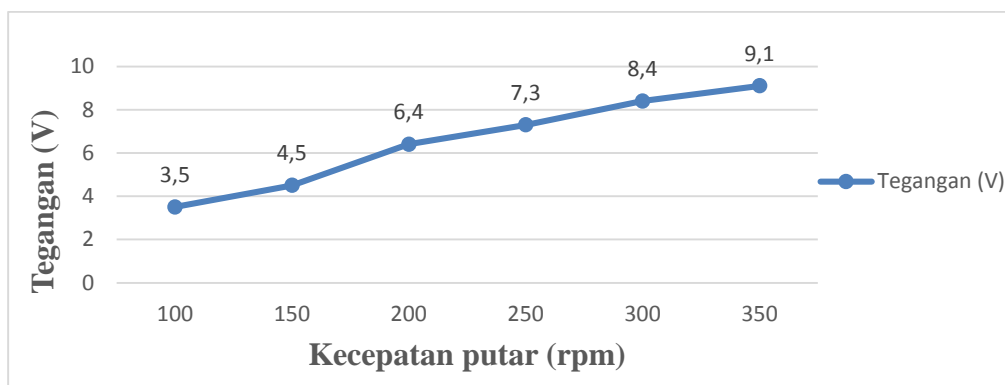


Gambar 9. Hubungan kecepatan putar terhadap frekwensi pada pengujian tak berbeban

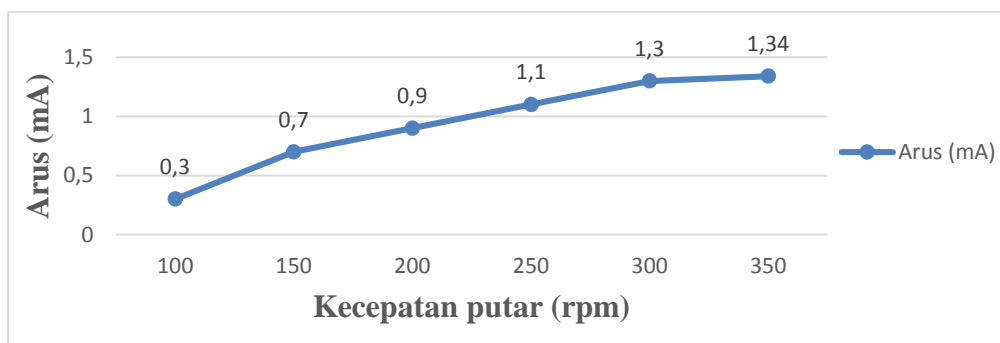
Dari tabel dan grafik hasil pengujian tak berbeban yang ditampilkan pada gambar 7 dapat diketahui tegangan generator mengalami kenaikan nilai tegangan yang signifikan yang berbanding lurus terhadap kecepatan putar rotor (rpm). Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa frekwensi generator juga mengalami kenaikan yang berbanding lurus terhadap kecepatan putar rotor. Tegangan terendah diperoleh pada kecepatan 100 rpm dengan nilai tegangan tanpa beban 6,8 V. Ketika kecepatan dinaikkan tegangan juga mengalami kenaikan, kecepatan dinaikkan dengan kenaikan 50 rpm. Tegangan mengalami kenaikan secara signifikan sesuai dengan kenaikan kecepatan dan diikuti dengan kenaikan frekwensi saat kecepatan dinaikkan. Tegangan tertinggi pada pengujian tak berbeban ini diperoleh pada frekwensi 59,5 Hz dengan nilai tegangan 18,2 V dan pada frekwensi standar kurang lebih 50 Hz tegangan mencapai 15,3 V. Generator magnet permanen ini mengalami kenaikan tegangan rata – rata sebesar 11,8 %, pada setiap kenaikan 50 rpm.

Tabel 2. Pengujian berbeban

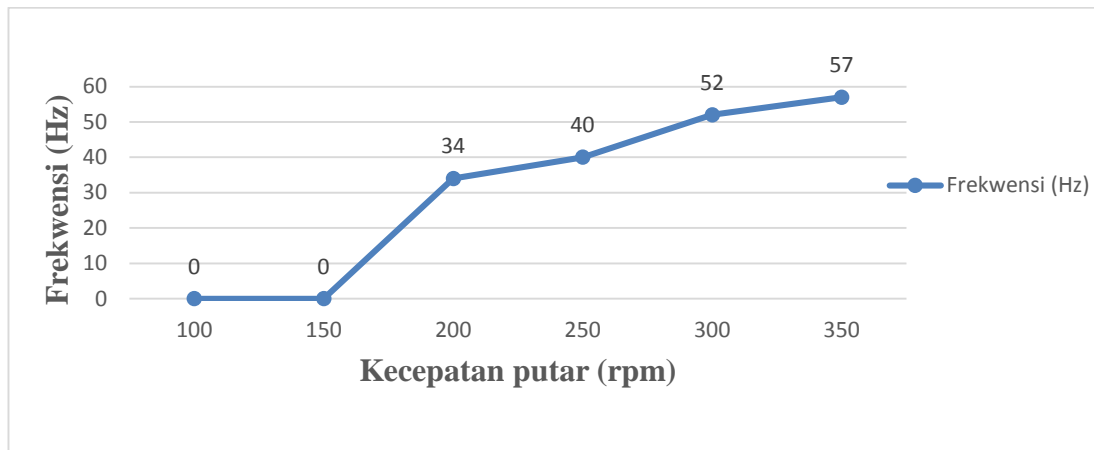
Kecepatan putar (rpm)	Tegangan (V) (Volt)	Arus (I) (mA)	Frekwensi (f) (Hz)	Daya (P)= $V \times I \times \cos \Theta$ (mW)
100	3,5	0,3	-	1,05
150	4,5	0,7	-	3,15
200	6,4	0,9	34	5,76
250	7,3	1,1	40	8,03
300	8,4	1,3	52	10,92
350	9,1	1,34	57	12,194



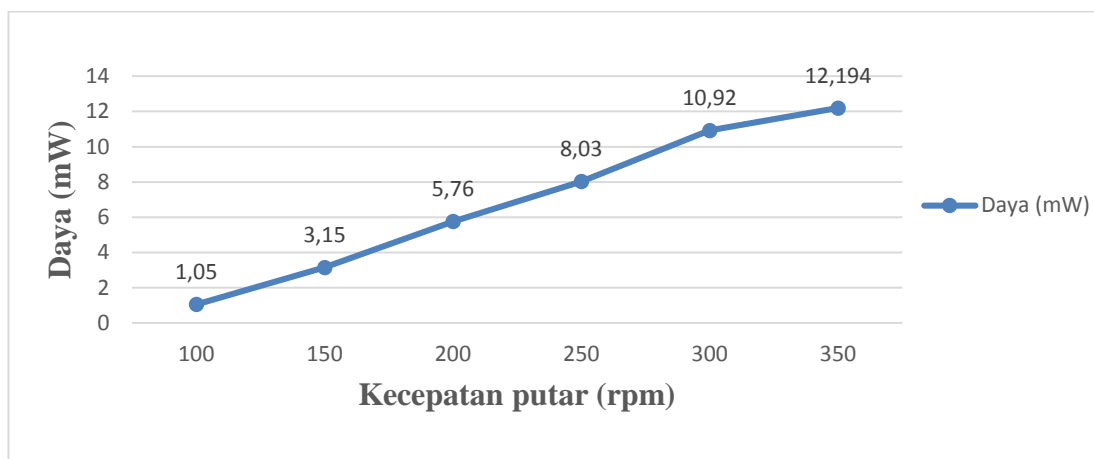
Gambar 10. Hubungan kecepatan putar terhadap tegangan pada pengujian berbeban



Gambar 11. Hubungan kecepatan putar terhadap arus pada pengujian berbeban



Gambar 12. Hubungan kecepatan putar terhadap frekwensi pada pengujian berbeban



Gambar 13. Hubungan kecepatan putar terhadap daya pada pengujian berbeban

Dari tabel dan grafik hasil pengujian generator dengan beban 7 buah led dengan $\cos \theta$ bernilai 1 yang dihubungkan paralel yang ditunjukkan pada gambar 9 dapat diketahui bahwa tegangan mengalami kenaikan berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan (rpm). Pada gambar 10 menunjukkan bahwa nilai arus juga mengalami kenaikan sebanding dengan kenaikan kecepatan. Frekwensi mengalami kenaikan nilai mengikuti kenaikan nilai kecepatan, frekwensi 50 Hz dicapai pada rpm 300 dengan daya keluaran generator mencapai nilai 10,92 mW dan frekwensi 60 Hz dicapai pada kurang lebih rpm 350 dengan daya keluaran generator sebesar 12,194 mW, ditunjukkan pada gambar 11. Nilai daya mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan. Dari tabel pengujian berbeban, diperoleh nilai tegangan yang lebih rendah dari pengujian tak berbeban pada kecepatan dan jumlah belitan yang sama. Hal ini terjadi dikarenakan sebagian tegangan yang dibangkitkan mengalami losses tegangan pada beban.

Generator baik type radial maupun type axial, penambahan beban pada saat generator dalam kondisi aktif pada umumnya akan membuat kecepatan putar generator mengalami penurunan, hal ini

akan berdampak pula pada penurunan frekwensi serta penurunan tegangan keluaran generator. Penyebabnya adalah karena beban yang dilayani akan membangkitkan arus yang kemudian melewati belitan stator sehingga menghasilkan medan magnet dengan arah yang berlawanan dengan medan putar rotor sehingga putaran rotor menjadi tertahan. Akan tetapi, pada penelitian yang telah dilakukan menggunakan generator magnet permanen ini, pada saat pemberian beban dilakukan ketika generator dalam kondisi aktif, kecepatan putar rotor tetap stabil. Hal ini disebabkan karena pemberian beban pada generator terlalu kecil sehingga arus yang mengalir pada belitan stator hanya menimbulkan medan magnet yang kecil dan tidak mampu untuk menahan kecepatan putar rotor.

4. PENUTUP

Pada generator magnet permanen yang dirancang ini keluaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa variabel. Variabel yang dimaksud diantaranya jumlah magnet serta kekuatan medan magnet yang dihasilkan, jumlah slot belitan stator, jumlah belitan stator, jarak celah udara antara stator dengan rotor semakin dekat celah udaranya maka keluaran generator akan semakin besar. Semakin banyak jumlah belitan dan jumlah slot belitan akan membuat tegangan keluaran generator semakin besar. Semakin kuat medan magnetnya maka tegangan keluaran generator juga akan semakin besar, hal ini dapat dilakukan dengan mengatur jarak celah udara antara stator dengan rotor dan menggunakan jenis magnet permanen yang memiliki kuat medan magnet tinggi. Namun, semakin kuat medan magnet generator akan berpengaruh pada kecepatan putar generator tersebut, hal ini dapat dimanfaatkan bila akan membuat generator kecepatan (rpm) rendah.

Generator magnet permanen yang dibuat dan dilakukan pengujian pada penelitian ini mampu menghasilkan tegangan keluaran minimal sebesar 3,5 V pada kecepatan 100 rpm kondisi berbeban. Tegangan keluaran tertinggi sebesar 8,4 V pada kecepatan 300 rpm dengan frekwensi 50 Hz, dan pada frekwensi 60 Hz tercapai nilai tegangan 9,1 V dengan kecepatan 350 rpm pada kondisi berbeban. Daya hasil keluaran generator mengalami kenaikan sebanding dengan kenaikan kecepatan putar generator dengan kenaikan rata – rata 6,85 % setiap kenaikan kecepatan 50 rpm. Frekwensi generator mengalami kenaikan sebanding dengan kenaikan kecepatan putar generator, semakin tinggi kecepatan putar generator maka frekwensi yang dihasilkan juga semakin meningkat, begitu pula sebaliknya.

Pada pengujian generator yang telah dilakukan tidak terjadi penurunan kecepatan putar generator maupun penurunan nilai frekwensi akibat dari beban yang diberikan terlalu kecil. Perlu dilakukan pengujian dalam skala yang lebih besar, sehingga dapat diketahui pengaruh pembebanan terhadap kecepatan putar maupun frekwensi. Namun, masih diperlukan perombakan terlebih dahulu terhadap desain generator, dengan melakukan perubahan baik pada stator maupun rotor dengan desain baru. Magnet permanen neodmium dapat diganti dengan ukuran yang lebih besar sehingga kuat

medan magnetnya juga besar sehingga akan mempengaruhi tegangan keluaran generator. Ukuran kawat email perlu diperbesar untuk memperoleh arus yang besar, dan perlu diperbanyak jumlah belitan dan jumlah slot stator sehingga dapat diperoleh tegangan keluaran yang besar. Memperkecil jarak celah udara antara stator dengan rotor dan perlu dilakukan desain mekanis yang lebih kuat dan kokoh sehingga generator mampu untuk pengujian rpm tinggi.

PERSANTUNAN

Selama penyusunan tugas akhir ini penulis sangat berterimakasih atas dukungan, saran serta bantuan dari berbagai pihak sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan, oleh karena itu penulis mengucapkan rasa terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kemudahan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tuaku yang sangat aku cintai dan seluruh keluarga atas semangat, nasihat dan do'anya selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Umar, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Bapak Ir. Jatmiko, M.T. selaku Pembimbing yang telah memberi bimbingan serta pengarahan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
6. Bapak dan Ibu dosen atas kesediaanya membimbing dan memberikan waktunya kepada penulis selama belajar di prodi Teknik Elektro.
7. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Elektro 2012 semoga kekeluargaan tetap terjaga selalu untuk Elektro Bersatu 2012.
8. Seluruh pihak yang telah banyak membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Hirosawa, S. (2015). Permanent Magnets Beyond Nd-Dy-Fe-B. *Jom*, 67(6), 1304–1305. <http://doi.org/10.1007/s11837-015-1439-z>
- Irasari, P., & Novrita, I. (2009). Aplikasi Magnet Permanen Ba $Fe_{12}O_{19}$ dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 11(1), 38–41.
- Jati, D. W., Tejo, S., & Karnoto. (2012). Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara. <http://www.elektro.undip.ac.id>. Diakses pada: Sabtu, 25 Juni 2016.
- Kim, K. (2016). Design of Permanent Magnet Generator Coupling With Power Converter. *Technology collection* 19(3), 969.

- Lee, G. C., & Jung, T. U. (2013). A Design on Reduction Cogging Torque of Dual Generator Radial Flux Permanent Magnet Generator for Small Wind Turbine. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 8(6), 1590–1595. <http://doi.org/10.5370/JEET.2013.8.6.1590>
- LI, J., & ZHANG, X.-P. (2016). Impact of Increased Wind Power Generation on Subsynchronous Resonance of Turbine-generator Units. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 4(2), 219–228. <http://doi.org/10.1007/s40565-016-0192-9>
- Multi, A., Budiyanto., & Sugianto. (2015). Pemanfaatan Generator Sinkron AFWR Sebagai Motor Sinkron AFWR. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2015*. <http://www.jurnal.ftumj.ac.id/index.php/semnastek>. Diakses pada: Rabu, 8 Juni 2016.
- Prasetijo, H., & Sugeng, W. (2015). Optimasi Lebar Celah Udara Generator Axial Magnet Permanen Putaran Rendah 1 Fase, *JNTETI*: 4(4).
- Price, G. F., Batzel, T. D., Comanescu, M., & Muller, B. A. (2008). Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator. *The 2008 IAJC IJME International Conference*.